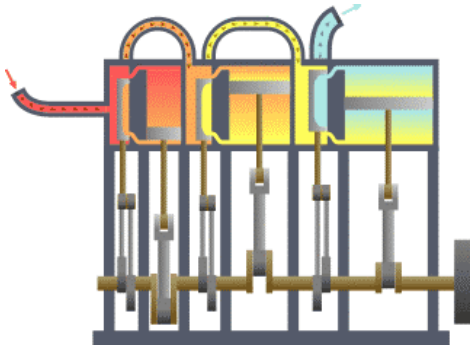
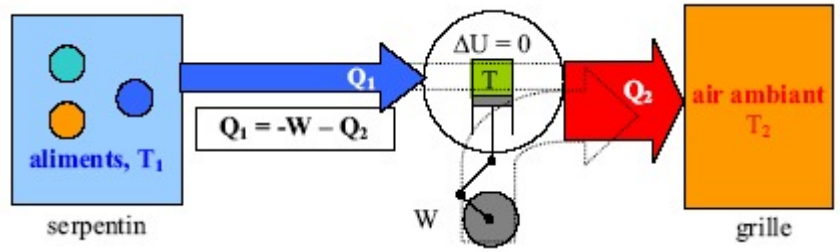
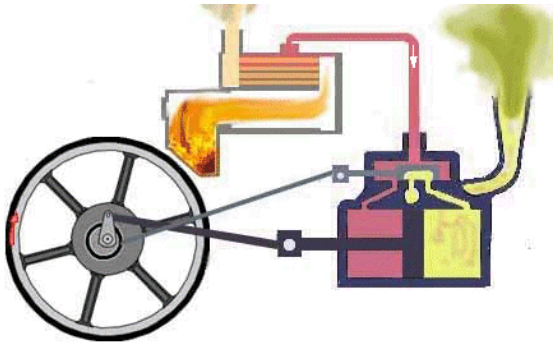
Elément de module

Thermodynamique







CP2 : 2020 / 2021

Pr Souad El Khattabi
ENSA - Fes

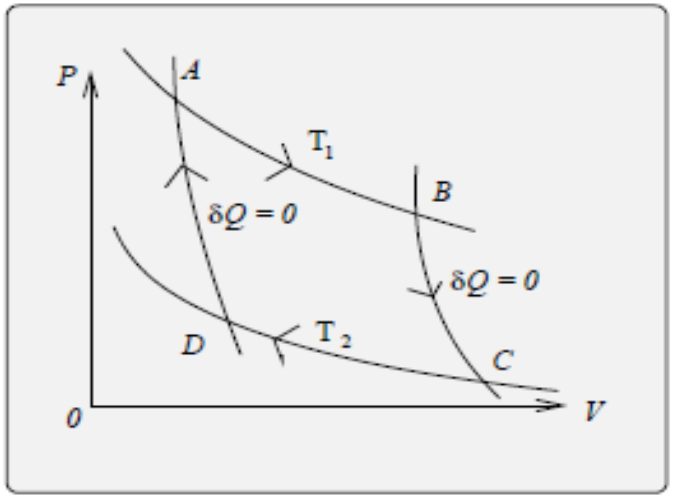
Applications aux machines thermiques

Cycle de Carnot

→ Définition

C’est une transformation cyclique réversible au cours de laquelle le système échange de la chaleur avec deux sources de chaleur aux températures T_1 et T_2.

Le cycle est composé de deux transformations isothermes (AB et CD) et de deux transformations adiabatiques (BC et DA).



- Isotherme AB : Le système est en contact avec la source chaude $T_1 > T_2$ avec laquelle il échange une quantité de chaleur Q_1.

- Isotherme CD : Le système est en contact avec la source froide T_2 avec laquelle il échange de la chaleur Q_2.

- Adiabatiques BC et DA : Le système est isolé thermiquement. La variation d'entropie au cours de ces deux transformations adiabatiques réversibles est nulle.

→ Bilan des échanges de chaleurs

➢ A à B : isotherme :

$$dU_{AB} = 0 = \delta Q_{AB} - PdV$$

$$\delta Q_{AB} = PdV = nRT_1 \frac{dV}{V}$$

$$Q_1 = Q_{AB} = nRT_1 ln \frac{V_B}{V_A}$$

➢ C à D : isotherme :

$$dU_{CD} = 0 = \delta Q_{CD} - PdV$$

$$\delta Q_{CD} = PdV = nRT_2 \frac{dV}{V}$$

$$Q_2 = Q_{CD} = nRT_2 ln \frac{V_D}{V_C}$$

➢ B à C : adiabatique de T1 à T2:

$$Q_{BC} = 0$$

➢ D à A : adiabatique deT2 à T1 :

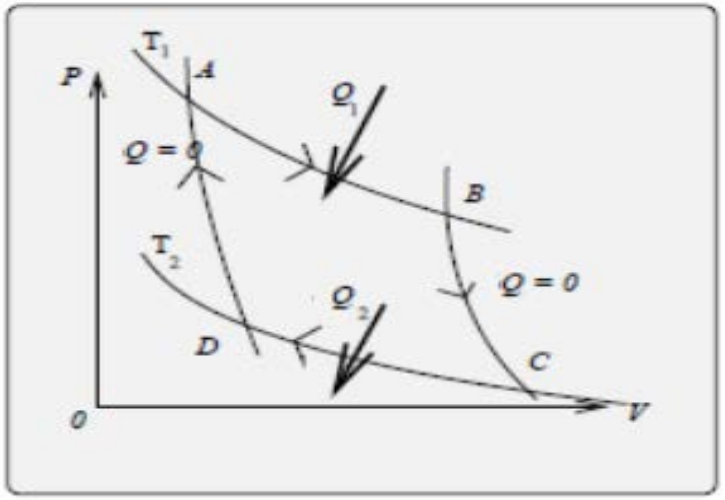
$$Q_{DA} = 0$$

Remarques :

❖ Signes des quantités de de chaleur :

$$Q_1 = Q_{AB} = nRT_1 ln\frac{V_B}{V_A} > 0$$

$$et \qquad Q_2 = Q_{CD} = nRT_2 ln\frac{V_D}{V_C} < 0$$



❖Relations entre les températures et les volumes V_A, V_B, V_C, V_D :

BC adiabatique :

$$T_1 V_B^{\gamma-1} = T_2 V_C^{\gamma-1}$$

DA adiabatique :

$$T_1 V_A^{\gamma-1} = T_2 V_D^{\gamma-1}$$

On peut tirer que :

$$\frac{V_B}{V_A} = \frac{V_C}{V_D}$$

A partir des expressions des échanges de chaleur Q_1 et Q_2 :

$$\frac{Q_1}{T_1} = nRln\frac{V_B}{V_A} = nRln\frac{V_C}{V_D} = -\frac{Q_2}{T_2}$$

Soit :

$$\boldsymbol{\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0}$$ ***Egalité de Clausius ou de Carnot***

Exercice :

On considère un cycle de Carnot constitué d'une succession de transformations réversibles. Soient :

- AB, une compression adiabatique (S constante),
- BC, une détente isotherme à $T = T_2$,
- CD, une détente adiabatique (S constante),
- DA, une compression isotherme à $T = T_1$.

1°- Représenter le cycle dans le diagramme (P,V), et (T,S) en indiquant le sens des transformations.

2°- Calculer les quantités de chaleur échangées en fonction de T_1, T_2, S_A, S_B, S_C et S_D et indiquer leur signes.

3°- Calculer le travail échangé au cours de cycle, préciser la nature du cycle .

I-1/Machine thermique

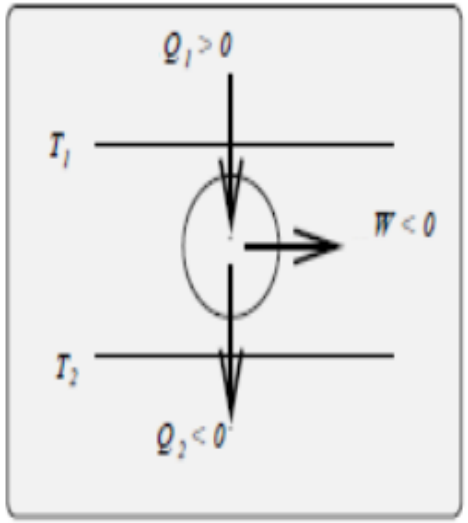
C’est un dispositif effectuant des transformations cycliques permettant de transformer une énergie calorifique (chaleur) en énergie mécanique (travail) et réciproquement.

Classifications des machines thermiques

→ Moteur thermique (machine motrice)

La différence entre la chaleur reçue de la source chaude T1 et la chaleur fournie à la source froide est convertie en travail pour faire tourner le moteur thermique.

Il est caractérisé par : $W < 0, \quad Q_1 > 0 \quad et \quad Q_2 < 0$



→ Machine frigorifique et pompe à chaleur (machines réceptrices)

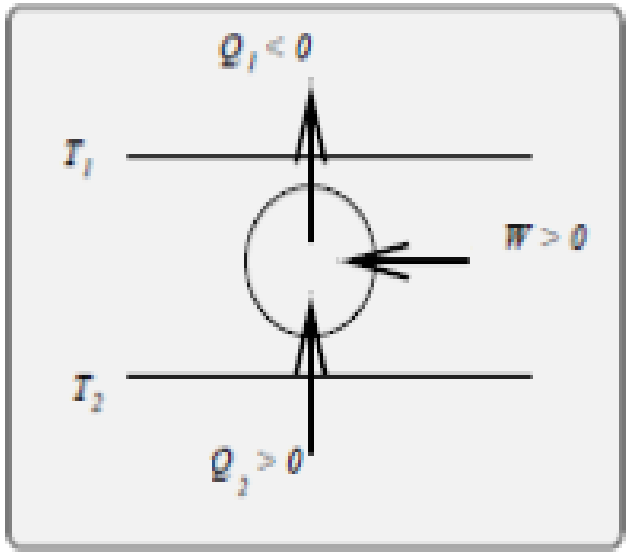
Elle prélève de la chaleur à la source froide et rejette de la chaleur à la source chaude moyennant d'un travail.

La fonction du réfrigérateur est de refroidir la source froide et celle de la pompe à chaleur est de réchauffer la source chaude.

Les deux types de machines se caractérisent par :

$W > 0, \qquad Q_1 < 0 \quad et \quad Q_2 > 0$

Remarque : Le cycle moteur est décrit dans le sens horaire et le cycle récepteur est décrit dans le sens trigonométrique.



Rendement des machines thermiques

→ Rendement des moteurs thermiques réversibles

Le rendement de Carnot ρ est défini comme étant le rapport entre le travail fourni W_{cycle} et la quantité de chaleur absorbée. Le rendement est toujours inférieur à 1 et il est toujours positif.

$$\rho = -\frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

N.B: Le rendement d'un moteur thermique ne dépend que des températures.

Rendement d'une machine frigorifique ou pompe de chaleur

Dans le cas d'un récepteur, on ne parle plus de rendement mais de **l'efficacité e**. L'efficacité d'un récepteur est toujours supérieure à 1.

$$e = \frac{chaleur\ à\ la\ source\ froide\ ou\ chaude}{travail\ total} = \frac{|Q_{2\ ou\ 1}|}{W}$$

Machine frigorifique :

$$e = \frac{|Q_2|}{W} = \frac{Q_2}{-(Q_1 + Q_2)} = -\frac{1}{\frac{Q_1}{Q_2} + 1} = -\frac{1}{-\frac{T_1}{T_2} + 1} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Pompe à chaleur :

$$e = \frac{|Q_1|}{W} = \frac{-Q_1}{-(Q_1 + Q_2)} = \frac{1}{1 + \frac{Q_2}{Q_1}} = \frac{1}{1 - \frac{T_2}{T_1}} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

Exercice:

Le fluide d'un réfrigérateur subit une transformation cyclique suivant un cycle de Carnot. Au cours d'un cycle, le fluide reçoit le travail W (W> 0).

1°) Comparer la valeur Q_2 de la chaleur cédée par la source froide (température T_2) à celle Q_1de la chaleur reçue par la source chaude (température T_1).

2°) En supposant le cycle décrit de façon réversible, calculer Q_2 en fonction de W, T_1 et T_2.

3°) Calculer l'efficacité frigorifique.